

Очевидно, что для достижения максимального светопропускания и наилучшего осветления стекломассы необходимо было ввести комплексный обесцвечиватель.

Оксиды железа в стекле находятся в состоянии подвижного равновесия:



В присутствии окислителей или свободного кислорода реакция будет сдвигаться в сторону образования  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , т. е. в оксидную форму железа (III), менее интенсивно окрашивающую стекло. В нашем случае необходимо было добиться этого за счет окисления в процессе варки стекла.

При применении селитры (калиевая дала больший эффект, чем натриевая) часть кислорода выделяется из нее еще до стадии стеклообразования, поэтому для дополнительного ввода кислорода и рационального использования кислорода селитры ввели оксид сурьмы (в оптическом стекловарении используют оксид мышьяка, но это дороже и опаснее). Оксид церия (IV) является сильным окислителем, механизм действия:



Опыты показали, что эффективней вводить оксид церия в определенном количестве (превосходить содержание оксидов железа в 3–4 раза) при обязательном вводе селитры. Оксид церия, введенный в шихту, одновременно с обесцвечиванием способствует осветлению стекломассы, т. е. удалению из нее пузырей. С увеличением добавки оксида церия светопропускание увеличивается.

По результатам исследований можно сказать, что полученные образцы по внешнему виду и по свойствам вполне соответствуют требованиям, предъявляемым к данным видам стекол. Следовательно, данные сырьевые материалы можно рекомендовать для производства листового (оконного) и тарного стекол. Использование местных материалов экономически и практически выгодно для производства стекла, что позволяет отказаться от дорогостоящих привозных материалов и тем самым значительно сократить транспортные затраты.

УДК 669.054

Багин Д. Н., Обвинцева Е. Ю., Якушев Н. С., Коняев А. Ю.  
Уральский федеральный университет,  
a.u.konyaev@urfu.ru

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ЭЛЕКТРОННОГО ЛОМА**

В последние годы одной из наиболее востребованных задач становится переработка электронного лома (отслужившие свой срок компьютеры, телефоны, радиотехнические изделия, электронные блоки электротехнических установок) с целью извлечения и вторичного использования содержащихся в нем бла-

городных и цветных металлов [1–3]. Такие отходы являются многокомпонентными и не могут подвергаться непосредственной металлургической переработке без экологических последствий и потери значительной части полезных компонентов. Современным эколого-экономическим требованиям (минимизация воздействия на окружающую среду, ресурсо- и энергосбережение) более всего удовлетворяет комплексная переработка отходов, предполагающая разделение их на фракции с последующей утилизацией полученных компонентов наиболее подходящими методами.

Электронный лом характеризуется тем, что в большинстве случаев материалы содержатся в нем в виде сростков. Поэтому на первой стадии переработки необходимо дробление и измельчение отходов для раскрытия отдельных материалов с последующим разделением их на фракции. Например, в [3] описан комплекс по механической обработке радиоэлектронного лома, включающий молотковые дробилки, вибрационные грохоты и каскадно-гравитационные классификаторы. Комплекс позволяет обрабатывать радиоэлектронные блоки с навесным монтажом печатных плат, с корпусными элементами, содержащими, в том числе, и стальные детали. На выходе комплекса получают коллективные концентраты материалов, систематизированные по крупности входящих в них частиц, что облегчает последующую переработку, основной задачей которой является отделение металлов от изоляции.

Возможность отделения изоляционных материалов и получения селективных концентратов металлов появляется при использовании электродинамических сепараторов. В мировой практике чаще всего применяются электродинамические сепараторы с бегущим магнитным полем. Разработка и исследование таких сепараторов является одним из научных направлений кафедры «Электротехника и электротехнологические системы» УрФУ [4–5]. В лаборатории кафедры созданы опытные образцы электродинамических сепараторов, разработаны методики расчета характеристик таких сепараторов. Опробование процессов сепарации электронного лома на опытных установках с использованием материалов, предоставленных заказчиком, показало, что для сепарации фракции отходов крупностью +10–20 мм может использоваться сепаратор на основе двухстороннего трехфазного линейного индуктора при подаче сепарируемых материалов по наклонной плоскости. Такой сепаратор схематично показан на рис. 1.

Бегущее магнитное поле создается линейным индуктором, питаемым трехфазным переменным током частотой 50 Гц. Разделяемые смеси материалов подаются в зону сепарации по наклонной плоскости. При взаимодействии с бегущим магнитным полем частицы немагнитных цветных металлов получают ускорение, направленное поперек линии подачи. Величина такого ускорения зависит от соотношения электропроводности металла и его удельного веса. Металлы и сплавы, отличающиеся по указанному показателю, собираются на выходе установки в разные приемники продуктов сепарации.

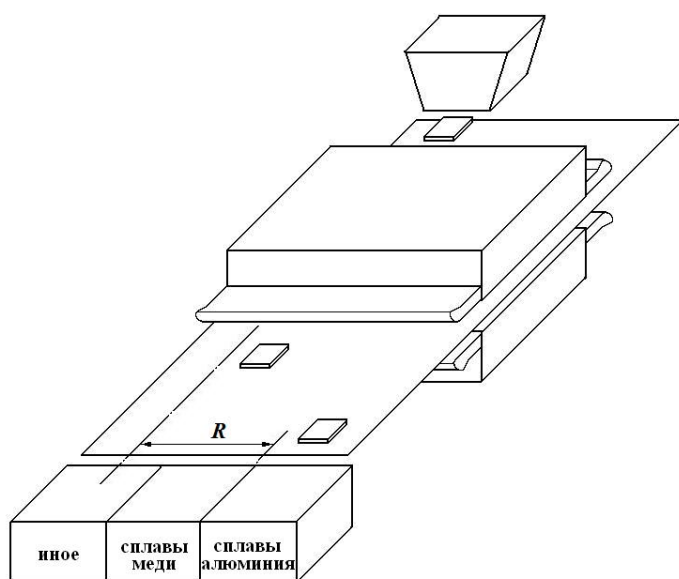


Рис. 1. Схема опытного электродинамического сепаратора для сортировки электронного лома

В процессах сепарации на извлекаемые проводящие тела помимо электромагнитных сил действуют конкурирующие механические силы, величина которых зависит от многих случайных факторов. Кроме того, в случае малых размеров извлекаемых частиц величина действующих на них электромагнитных усилий отталкивания, боковых усилий и вращающих моментов становится соизмеримой с действием продольной силы – силы извлечения, что обуславливает сложный и неоднозначный характер движения предметов.

Возрастает влияние на результат случайных факторов: форма предметов и их ориентация в поле, состав сепарируемой смеси, влажность и т. п. Все это снижает повторяемость результатов экспериментов. По указанным причинам при исследованиях эффективность сепарации целесообразно оценивать по технологическим показателям, таким как «степень извлечения выделяемого продукта в концентрат» (доля частиц выделяемого продукта в концентрате от того же продукта в исходной смеси) –  $\epsilon$  и «содержание выделяемого продукта в концентрате» (доля частиц выделяемого продукта среди всех частиц в концентрате) –  $\beta$ . При экспериментальных исследованиях технологические показатели определяются с помощью серии экспериментов по результатам взвешивания проб исходного материала и выделенных фракций на электронных весах. Строгость экспериментальной оценки обеспечивается применением статистических методов при математической обработке опытов.

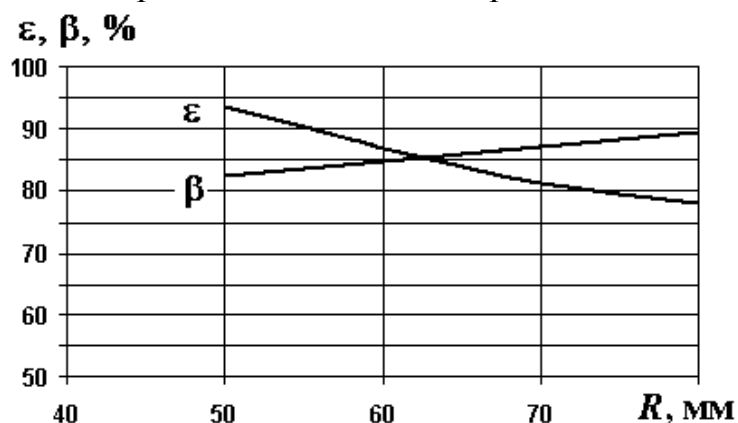


Рис. 2. Зависимости технологических показателей опытного сепаратора от положения разделителя потока

На рис. 2 показаны зависимости достигнутых при испытаниях технологических показателей электродинамического сепаратора от положения разделителя потока материалов ( $R$  – расстояние от линии подачи материала до разделителя потока, как показано на рис. 1).

Задачей сепарации, сформулированной предприятием–заказчиком, являлось выделение из электронного лома алюминиевых сплавов.

Полученные результаты (степень извлечения алюминиевых сплавов и их содержание в концентрате на уровне 80–90 %) подтверждают возможность эффективного использования электродинамических сепараторов для обработки электронного лома.

#### Список литературы

1. Медведев А., Арсентьев С. Утилизация продуктов производства электроники // Компоненты и технологии. 2008. № 10. С. 153–159.
2. Цыпин Е. Ф. О переработке электронного лома и отходов // Известия вузов. Горный журнал. 1997. № 11–12. С. 233–239.
3. Дистанов А. А., Воскобойников В. В. Комплекс для переработки радиоэлектронного лома // Твердые бытовые отходы. 2012. № 5. С. 3–7.
4. Коняев А. Ю., Коняев И. А., Назаров С. Л. Применение электродинамических сепараторов в технологиях вторичной цветной металлургии // Цветные металлы. 2012. № 11. С. 22–25.
5. Переработка электронного лома: применение электродинамических сепараторов // А. Ю. Коняев, С. Л. Назаров, Р. О. Казанцев, Н. С. Якушев [и др.] // Твердые бытовые отходы. 2014. № 2. С. 26–30.

УДК 621.928.8

Багин Д. Н., Макаров А. В., Коняев И. А.  
Уральский федеральный университет,  
a.u.konyaev@urfu.ru

## **ИНДУКЦИОННАЯ СОРТИРОВКА ЛОМА ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ ПОДГОТОВКЕ К МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОМУ ПЕРЕДЕЛУ**

Одной из тенденций развития экономики, направленной на решение эколого-экономических проблем, является увеличение производства вторичных цветных металлов. В то же время производство металлов из рудного сырья сталкивается с целым рядом экономических и экологических проблем. Возрастают затраты на разработку сырья, что связано с уменьшением содержания металлов в рудах и увеличением транспортных расходов из-за удаленности месторождений. Велики топливно-энергетические затраты на производство цветных металлов и расходы на природоохранные мероприятия, поскольку технологические процессы в цветной металлургии характеризуются большим количеством пылегазовых выбросов в атмосферу, сточных вод и разнообразных видов твердых отходов (хвосты обогащения, шлаки и шламы металлургических переделов, отходы металлообработки и т. д.). Указанные причины обуславливают необходимость развития вторичной цветной металлургии.

При использовании вторичных металлов уменьшается потребность в минеральном сырье, снижаются энергопотребление и выбросы в биосферу загрязняющих веществ. Однако производство вторичных цветных металлов в нашей